สุชาติ ศิริทาวรจันทร์

เทคนิคการลดเสียงรบกวนโดยใช้ Perforated metal sheet ประกอบกับวัสดุดูดซับเสียง

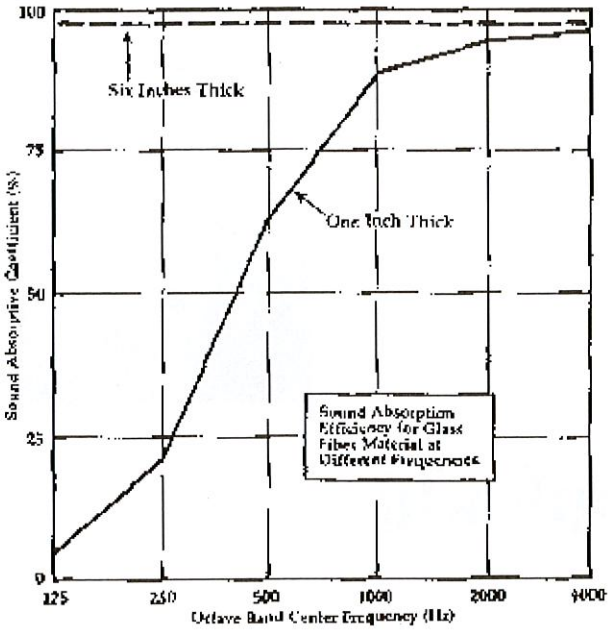
บทนำ

ปัจจุบันงานด้านการปรับปรุงคุณภาพเสียง การลดเสียงก้องสะท้อน การดูดซับเสียง สำหรับห้องต่าง ๆ เช่น ห้องอัดเสียง, สตูดิโอ, ห้องส่ง, ห้องเครื่องจักร, อุปกรณ์ระบบท่อส่งลมต่าง ๆหรือแม้กระทั่งภายในอุโมงค์รถยนต์ใต้ดินบางแห่ง ในต่างประเทศ จะใช้วัสดุดูดซับเสียงประเภทเซลเปิดเป็นเส้นใย เช่น ใยแก้ว, rockwool, เยื่อกระดาษ, ผ้าบุนวม ฯลฯ วัสดุเหล่านี้จะมีคุณสมบัติในการหน่วงการสั่นสะเทือนของคลื่นเสียง ซึ่งมีกลไกคล้าย ๆ สปริง ผลที่ได้คือช่วยควบคุมให้ระดับเสียงภายในพื้นที่ใช้งานเงียบลงโดยการลดการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนพื้นผิว ทำให้ลด เสียงก้อง และลดการส่งผ่านของคลื่นเสียงด้วย ในการเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงดังกล่าวจะต้องทราบคุณสมบัติซึ่งเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorptioncoefficient $=\alpha$) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะที่ความถี่เสียงต่าง ๆ มีค่าไม่เกิน 1 (ค่ายิ่งใกล้ 1 ที่ความถี่ใด ๆ จะดูดกลืนเสียงที่ความถี่ ดังกล่าวได้ดี) ในการออกแบบให้วัสดุดูดซับเสียงสามารถดูดซับเสียงได้ดีที่ความถี่ที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับความหนา และความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะ ดังนั้น ในบางกรณี ถ้าต้องการดูดซับเสียงที่ความถี่ที่เกิดปัญหาจะต้องใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาถึง 6 นิ้ว ซึ่งไม่ สามารถติดตั้งได้ในทางปฏิบัติ

ในบทความนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการออกแบบ Perforated metal sheet ประกอบกับวัสดุดูดซับเสียงประเภทใยแก้วเพื่อให้ได้คุณสมบัติการดูดซับเสียงที่ความถี่เฉพาะความถี่หนึ่งโดยมีขนาดความหนาในระดับที่สามารถติดตั้งได้ในทางปฏิบัติ ในตอนท้ายจะเป็นตัวอย่างการคำนวณเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้อง, การออกแบบ enclosure โดยใช้ Perforated metal sheet ประกอบกับวัสดุดูดซับเสียงเพื่อลดเสียงจากเครื่องจักร

1. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉนวนใยแก้วและวัสดุอื่น ๆ

ดังที่กล่าวข้างต้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วที่ความถี่ต่าง ๆ จะแปรเปลี่ยนไปตามความหนา ซึ่งปรกติจะมีคุณสมบัติดูดซับเสียงที่ความถี่สูงได้ดี โดยใช้ความหนาเพียง1 นิ้ว แต่ถ้าต้องการออกแบบให้ดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำได้เกือบหมด จะต้องออกแบบให้มีความหนามากขึ้นถึงกว่า 6 นิ้ว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของใยแก้วที่ความหนาต่างๆ

ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่าง ๆ

Material	Octave band centre frequency (Hz.)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1. Non sound absorbing material								
Concrete	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
Bare metal sheet	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
2. Sound absorbing material								
1 inch fiber glass; 48 Kg./m^2	0.05	0.11	0.2	0.6	0.9	0.93	0.96	0.96
2 inches fiber glass; 48 Kg./m^2	0.1	0.17	0.86	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 inches fiber glass; 48 Kg./m^2	0.3	0.53	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4 inches fiber glass; 48 Kg./m^2	0.5	0.84	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

2. การนำ Perforated metal sheet ไปใช้ในงานร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงเพื่อปกคลุมผิว

ก่อนที่จะทำการออกแบบ Perforated metal sheet ประกอบกับฉนวนใยแก้วเพื่อใช้ในงานตกแต่งและปกคลุมผิว จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของ Perforated sheet ซึ่งจะมีตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการส่งผ่านของเสียง การกรอง หรือกักเก็บเสียงในช่องว่างอากาศ เพื่อมิให้สูญเสียคุณสมบัติการดูดซับเสียงโดยรวม ดังนี้

2.1 ค่าดัชนีการส่งผ่านเสียง (Sound Transparency Index-TI)

ตัวแปรนี้สามารถคำนวณได้ดังสูตร

$$TI = nd^2/ta^2 = 0.04\ P\ /\ \pi ta^2$$

โดยที่ : n = จำนวนรู Perforated ต่อ พื้นที่ 1 ตารางนิ้ว

d = เส้นผ่าศูนย์กลางรูเปิด (นิ้ว)

t = ความหนาแผ่น Perforated (นิ้ว)

a = ระยะที่สั้นที่สุดระหว่างรูโดยวัดที่ขอบรู(นิ้ว) ; a = b-d

b = ระยะระหว่างรูโดยวัดที่จุดศูนย์กลางรู (นิ้ว)

P = เปอร์เซ็นต์ช่องเปิด (%)

สูตรข้างต้นใช้ได้ทั้งช่องเปิดที่จัดวางเรียงเป็นเส้นตรงและช่องเปิดที่เรียงเหลื่อมกันหรือสลับฟันปลา

ถ้าไม่ทราบค่า b เราสามารถคำนวณค่า a จากสมการ

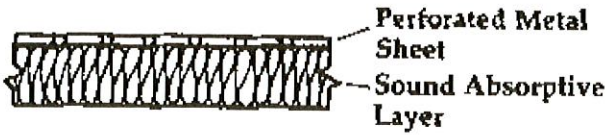
$$a = d\ ((K\ /\ P^{1/2})-1)$$

โดยที่ K = 9.5 ถ้าการจัดวางรูเปิดเป็นแบบเรียงเหลื่อมสลับฟันปลา และ K = 8.9 ถ้าการจัดวางรูเปิดเป็นแบบเรียงเป็นเส้นตรง

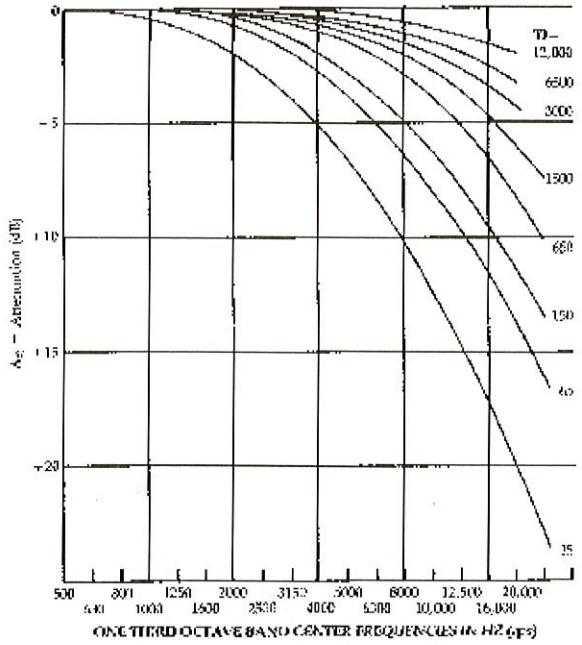
2.2 การป้องกันการส่งผ่านเสียงหรือค่าการลดเสียง (Sound Attenuation-Af)

เนื่องการใช้งาน Perforated metal sheet ประกอบบนวัสดุดูดซับเสียงด้วยเหตุผลเพื่อปกคลุมผิวของวัสดุดูดซับเสียงดังรูปที่ 2 ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาค่าการลดเสียงหรือค่าการป้องกันเสียงผ่าน perforated metal sheet ในแต่ละความถี่ เพื่อมิให้กระทบต่อค่าการดูดซับเสียงรวมของวัสดุ

ค่าการลดเสียงของ Perforated metal sheet ขนิดต่างๆ (ค่า TI ต่างกัน) ที่ความถี่ต่างๆ จะแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 รายละเอียดการใช้แผ่น Perforated บุบนวัสดุใยแก้วดูดซับเสียงทั่วไป



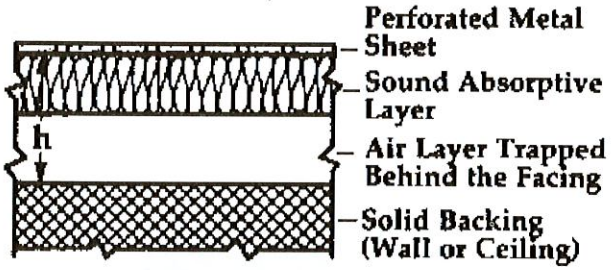
รูปที่ 3 ค่าการลดเสียงของ Perforated metal sheet ในแต่ละ TI ที่ความถี่ต่างๆ

โดยทั่วไปการเลือกใช้ Perforated sheet เพื่อปกคลุมผิวจะเลือกใช้ที่ P ไม่ต่ำกว่า 30% ด้วยขนาดรูและความหนาแผ่นโลหะไม่มากนักซึ่งปรกติจะตกที่ ค่า TI มากกว่า 650 จากกราฟรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าการป้องกันเสียง (Af) มีน้อยมาก ที่ความถี่ใช้งาน (63-8000 Hz.) ดังนั้นการใช้แผ่น Perforated บุทับบนใยแก้วติดตั้งแบบทั่วไปดังรูปที่ 2 จะไม่ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่อย่างใด

3. การออกแบบแผ่น Perforated ประกอบกับวัสดุดูดซับเสียงเพื่อใช้งานดูดซับเสียงเฉพาะเกิดความถี่กำทอน (The Tuned Resonant Absorber)

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้นการออกแบบวัสดุดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำๆ ให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงใกล้เคียง 1.0 คือดูดกลืนได้เกือบหมด จะต้องใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาถึง 6 นิ้ว ซึ่งไม่สามารถติดตั้งได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบโดยใช้วัสดุดูดซับเสียง ซึ่งมีความหนาเพียง 1-2 นิ้วประกอบกับแผ่น Perforated จัดวาง ดังรูปที่ 4 ผลที่ได้ก็คือจะทำให้ ค่าสัมประสิทธิ์การดูด ซับเสียงเท่ากับ 0.9-1.0 ที่ความถี่กำทอน ส่วนที่ความถี่อื่นๆ ที่เหลือขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ช่องเปิด, ค่าการสะท้อนเสียงของ ผิวโลหะทึบและเสียงที่สามารถทะลุผ่านรูเข้าไปในช่องว่างได้ จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\alpha_{\text{Perforated except Rasonance frequency}} = (1\text{-}P/100)\ .\alpha_{\text{Metal sheet}} + (P/100)\ \alpha_{\text{Fiber glass}}$$



รูปที่ 4 รายละเอียดการใช้แผ่น Perforated บุบนวัสดุใยแก้วดูดซับเสียง พร้อมมีช่องว่างอากาศ (=h) เพื่อให้เกิดความถี่กำทอน

สำหรับวิธีการออกแบบกำหนดค่าความถี่กำทอนสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. คำนวณได้จากสมการ

$$f_R = 5000 \{ P / (h . (t + 0.8 d)) \}^{1/2}$$

โดยที่ f_R = ความถี่กำทอน -Hz.

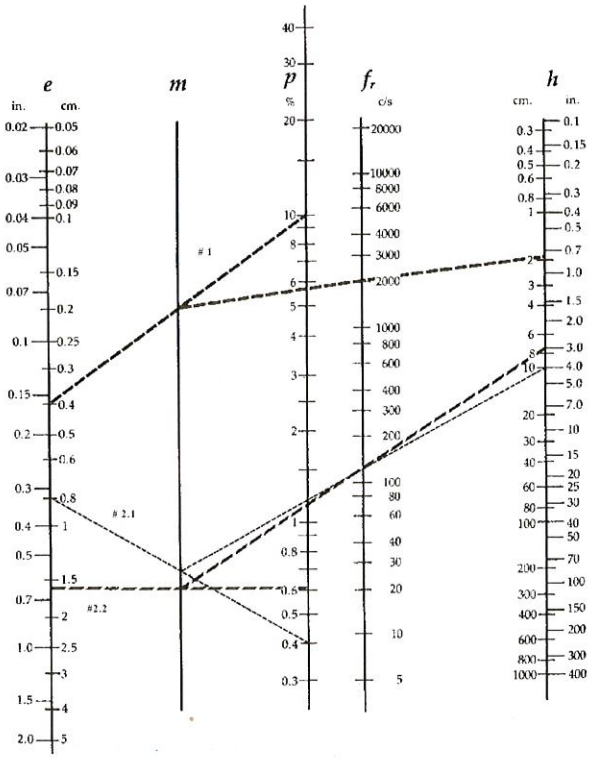
P = เปอร์เซ็นต์ช่องเปิด (%)

h = ช่องว่างอากาศระหว่างแผ่น Perforated กับ ผนังทึบ - (มิลลิเมตร)

t = ความหนาแผ่น Perforated - (มิลลิเมตร)

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู - (มิลลิเมตร)

2. ให้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ โดยใช้ โมโนกราฟ รูป ที่ 5



รูปที่ 5 โมโนกราฟเพื่อใช้ในการคำนวณความถี่กำทอน

จากโมโนกราฟ

fR = ความถี่กำทอน (Resonance frequency) -Hz.

h = ระยะระหว่างแผ่น Perforated ถึงผนัง (รวมฉนวน) -นิ้ว

e = ความยาวประสิทธิ์ผลของช่องเปิด โดยที่

$e = t + 0.8\ d$

(t = ความหนาแผ่น Perforated - นิ้ว ;

d = เส้นผ่าศูนย์กลางรู - นิ้ว)

P = เปอร์เซ็นต์ช่องเปิด (%)

สำหรับรูเปิดที่มีการจัดเรียงแบบสลับฟันปลาเหลื่อมกัน

$P = 0.9(d/b)^2 \times 100\%$

สำหรับรูเปิดที่มีการจัดเรียงแบบเป็นเส้นตรง

$P = 0.8(d/b)^2 \times 100\%$

(b=ระยะระหว่างรูโดยวัดที่จุดศูนย์กลางรู-นิ้ว)

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาความถี่กำทอนของแผ่น Perforated ตามที่กำหนด

กำหนดให้แผ่น Perforated มีความหนา Gauge 16 (หนา 0.0625 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ลักษณะการจัดเรียงรูเป็นแบบเหลื่อมสลับฟันปลา ระยะระหว่างศูนย์กลางรูเท่ากับ 3/8 นิ้ว คิดเป็น 8 รูต่อตารางนิ้ว ระยะจากแผ่น Perforated ถึงผนัง 3/4 นิ้ว คำนวณหาความถี่กำทอน

b = 0.375"

d = 0.125"

t = 0.0625"

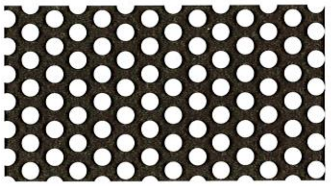
h = 0.75"

e = 0.0625 + 0.8 x 0.125

= 0.1625"

$P = 0.9\ (0.125"/0.375")^2 \times 100"$

= 10%



<u>วิธีการ</u> จากโมโนกราฟ เริ่มต้นที่ e = .1625" ลากเส้นไปตัดที่ P = 10% ไปตัดเส้น m ที่จุดใดๆ จากจุดนี้ลากเส้นไปตัดเส้น h = 0.75" เส้นดังกล่าวไปตัดเส้น f_R อ่านได้เท่ากับ 2000 Hz.

ดังนั้นที่ความถี่ 2000 Hz. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะเท่ากับ 1 การออกแบบผิวดูดซับเสียงแบบนี้เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีระดับความดันเสียงสูงสุดที่ 2000 Hz. เช่น เสียงจากการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence flow) ของ อากาศในระบบส่งลม, ซิลเลอร์หรือเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง แบบ Gear drive ที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงมากกว่า 8000-10000 rpm.

ตัวอย่างที่ 2 การออกแบบแผ่น Perforated เพื่อลดเสียงรบกวนที่ความถี่กำหนด

จากการตรวจวัด Spectrim ของระดับความดันเสียงภายในห้องเครื่องสูบน้ำแบบดีเซลห้องหนึ่ง กำเนิดเสียงที่มีระดับความดันสูงสุดที่ความถี่ 120 Hz. ให้ออกแบบ Enclosure ที่ประกอบด้วยแผ่น Perforated บุภายในด้วยฉนวนใยแก้ว เพื่อให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสูงที่สุดที่ความถี่ 120 Hz. กำหนดให้

ความหนาแผ่น perforated (t) = 0.125"

ความถี่กำทอน (f_R) = 120 Hz.

ช่องว่างอากาศภายใน (h) = 4"

<u>วิธีการ</u> จากโมโนกราฟ เริ่มต้นที่ข้อมูลที่มีอยู่คือ f_R, t, h เพื่อเลือกค่า d กับ P ที่เหมาะสมดังนี้

ลากเส้นเชื่อมจาก h = 4" และ f_R = 120 Hz. ตัดเส้น m

2.1 จากนั้นทดลองกำหนดให้ d = 0.25"

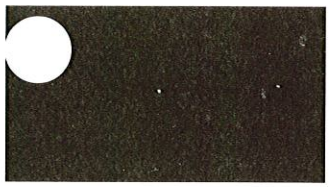
t = 0.125"

จะได้ e = t + 0.8 d = 0.325"

ต่อมาลากเส้นเชื่อมจาก e = .325" ถึง m จะไปตัดเส้น P = 0.4%

ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเหลื่อมสลับฟันปลาจะได้ $b = (90/P)^{1/2}.d = 3.75"$

ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเป็นเส้นตรงจะได้ $b = (80/P)^{1/2}.d =$ 3.54"



2.2 ถ้าทดลองกำหนดให้ d = 0.5"

t = 0.25"

h = 3"

จะได้ e = t + 0.8 d = 0.65"

ลากเส้นเชื่อมจาก h = 3" และ fR = 120 Hz. ตัดเส้น m

ลากเส้นเชื่อมจาก e = 0.65" ถึง m จะไปตัดเส้น P = 0.61%

ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเหลื่อมสลับฟันปลาจะได้ $b = (90/P)^{1/2}.d = 6.07"$

ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเป็นเส้นตรงจะได้ $b = (80/P)^{1/2}.d = 5.73"$

2.3 ถ้าทดลองกำหนดให้ d = 1"

t = 0.25"

h = 3"

จะได้ e = t + 0.8 d = 1.05"

ลากเส้นเชื่อมจาก h = 3" และ f_R = 120 Hz. ตัดเส้น m

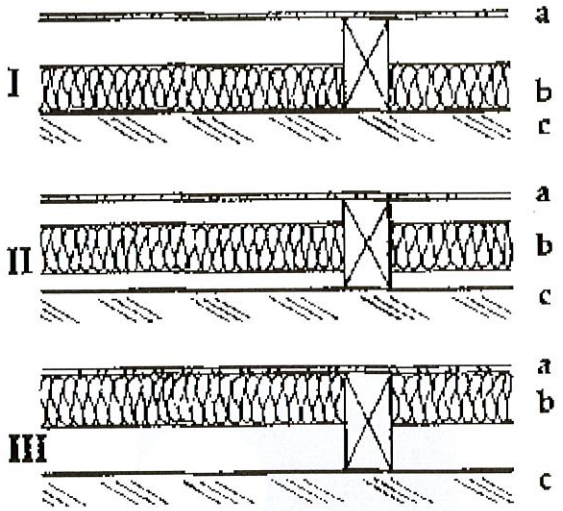
ลากเส้นเชื่อมจาก e = 1.05" ถึง m จะไปตัดเส้น P = 1.0%

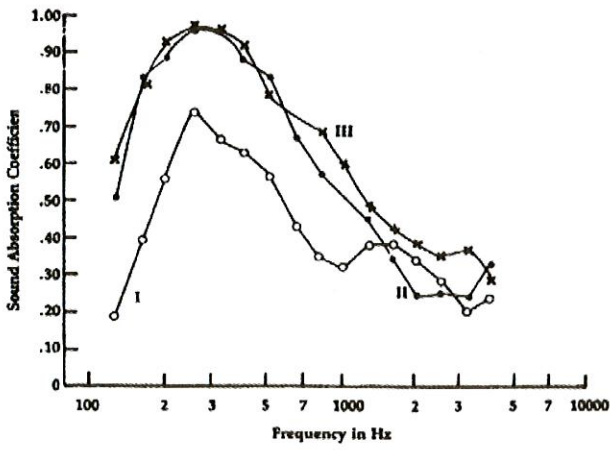
ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเหลื่อมสลับฟันปลาจะได้ $b = (90/P)^{1/2}.d = 9.49"$

ถ้าเป็นแผ่น Perforated แบบรูเปิดเรียงเป็นเส้นตรงจะได้ $b = (80/P)^{1/2}.d = 8.94"$

แผ่น Perforated ดังตัวอย่างข้างต้นทั้ง 3 กรณีจะให้ผลในการกำจัดเสียงที่ความถี่ 120 Hz. จากเครื่องสูบน้ำแบบดีเซลได้เหมือนกันหมด ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้งานได้ตามความต้องการ

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ารายละเอียดการจัดวางจะให้แผ่น Perforated อยู่ชิดแนบกับใยแก้วโดยที่ช่องว่างอากาศอยู่หลังใยแก้ว การจัดวางแบบนี้จะให้ผลในเรื่องการดูดซับเสียงที่ความถี่กำทอนสูงสุดดังรูปที่ 6

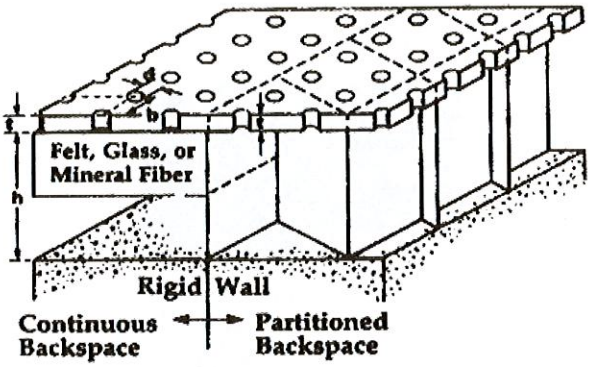




รูปที่ 6 รูปแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงสำหรับการติดตั้งแบบต่างๆ 3 แบบ

4. การปรับปรุงแผ่น Perforated ในทางปฏิบัติ

เนื่องจากในทางปฏิบัติทิศทางของคลื่นเสียงจะเป็นแบบกระจาย Diffuse sound มีทิศทางไม่ตั้งฉากกับผนัง Perforated ซึ่งทำให้ผลของการดูดซับเสียงจะลดลงเป็นอย่างมาก ถ้าคลื่นเสียงทำมุมกับแผ่น Peforated เข้าใกล้ 0 องศา ดังนั้นในทางปฏิบัติจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยการกั้นเป็นช่องว่างอากาศเล็กๆ คล้ายๆ รังผึ้งดังรูปที่ 7 และนอกจากนั้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในย่านความถี่กำทอนกว้างขึ้นด้วย



รูปที่ 7 รูปแสดงรายละเอียดการกั้นช่องว่างอากาศเป็นรังผึ้งเพื่อเพิ่มความกว้างของย่านความถี่กำทอนและลดผลของมุมตกกระทบของคลื่นเสียง

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณเพื่อปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้อง

ตัวอย่างข้างล่างเป็นการคำนวณเปรียบเทียบการปรับปรุงเพื่อลดเสียงความถี่ 125 Hz.ในห้องบันทึกเสียงโดยออกแบบแผ่น Perforated จากตัวอย่างที่ 2.3 ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ห้องที่ไม่มีการปรับปรุงผนังทุกด้าน, เพดานและพื้นเป็นคอนกรีตทั้งหมด

2. ห้องที่บุผนังภายในทุกด้านและเพดานด้วยใยแก้วหนา 1 นิ้ว

3. ห้องที่บุผนังภายในทุกด้านและเพดานด้วย Perforated หนา 6.25 mm. + ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ 2 นิ้ว

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$L_p = L_w + 10.\log(Q/4\pi r^2 + 4/R) + 10.\log N$

โดยที่ L_p = ระดับความดันเสียงภายในห้อง -(dB)

L_w = ระดับกำลังเสียงของอุปกรณ์ -(dB)
(ข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์)

Q = ค่า Directivity
(ถ้าอุปกรณ์แขวน Free hanging
Q = 1 ; ถ้าอุปกรณ์ตั้งพื้น
Q = 2 ; ถ้าอุปกรณ์ตั้งอยู่มุมห้อง Q=4)

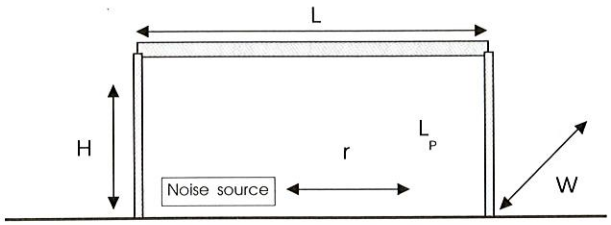
r = ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์กับจุดที่ทำการวัดเสียง -(m)

R = Room effect

โดยที่ $R = S\alpha_{Average}/(1-\alpha_{Average})$

S = พื้นที่ผิวทั้งหมดของห้อง - (m2)

$\alpha_{Average}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของผิวห้องทั้งหมด



ข้อมูลที่กำหนดให้

Frequency(Hz.)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_W (dB)	70	80	70	60	58	50	40	36	Assumption manufacturer data
ห้องกว้าง (W) =	5	m.							
ห้องยาว (L) =	15	m.							
ห้องสูง (H) =	4	m.							
ระยะห่างจากอุปกรณ์ถึงจุดที่ทำการวัด (r) =	2	m.							
จำนวนอุปกรณ์ (N) =	1	ชุด							
อุปกรณ์ตั้งบนพื้น (Q) =	2								

3.1 การคำนวณระดับความดันเสียงภายในห้องผิวคอนกรีตทั้งหมด (ยังมิได้มีการปรับปรุง)

พื้นที่ผนัง	=	160	m^2
พื้นที่พื้น	=	75	m^2
พื้นที่เพดาน	=	75	m^2
พื้นที่ผิวรวม	=	310	m^2

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{Concrete}$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$R = S\alpha_{Concrete}/(1-\alpha_{Concrete})$	3.1	3.1	3.1	6.3	6.3	6.3	9.6	9.6
10.log N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$10.\log(Q/4\pi.r^2+4/R)$	1.2	1.2	1.2	-1.7	-1.7	-1.7	-3.4	-3.4
$L_p = L_w + 10.\log(Q/4\pi.r^2+4/R) + 10.\log N$	71	81	71	58	56	48	37	33

3.2 การคำนวณระดับความดันเสียงภายในห้องที่บุผนังภายในทุกด้านและเพดานด้วยใยแก้วหนา 1 นิ้ว

Frequency (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{Concrete}$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$\alpha_{Fiber\ glass\ 1\ inches}$	0.05	0.11	0.2	0.6	0.9	0.93	0.96	0.96
$\alpha_{Average} = ((S_{floor}.\alpha_{Concrete})+(S_{wall+ceiling}\ \alpha_{fiberglass}))/S$								
$\alpha_{Average}$ =	0.04	0.09	0.15	0.46	0.69	0.71	0.74	0.74
$R = S\alpha_{Average}/(1-\alpha_{Average})$	13.0	29.1	56.4	263.7	680.7	758.4	859.8	859.8
10.log N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$10.\log(Q/4\pi.r^2+4/R)$	-4.6	-7.5	-9.6	-12.6	-13.4	-13.5	-13.5	-13.5
$L_p = L_w + 10.\log(Q/4\pi.r_2+4/R) + 10.\log N$	65	72	60	47	45	37	26	22

3.3 การคำนวณระดับความดันเสียงภายในห้องที่บุผนังภายในทุกด้านและเพดานด้วยPerforated หนา 6.25 mm. + ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ 2 นิ้ว

เปอร์เซ็นต์ Perforated (P) = 1.0 %

Frequency(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{\text{Metal sheet}}$	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
$\alpha_{\text{Fiber glass 1 inches}}$	0.05	0.11	0.2	0.6	0.9	0.93	0.96	0.96
$\alpha_{\text{Perforated except Rasonance frequency}} = (1-P/100)\,.\alpha_{\text{Metal sheet}} + (P/100)\,\alpha_{\text{Fiber glass}}$								
$\alpha_{\text{Perforated}}$	0.04	1.00	0.04	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
α_{Concrete}	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$\alpha_{\text{Average}} = ((S_{\text{floor}}\,.\alpha_{\text{Concrete}})+(S_{\text{wall+ceiling}}\,\alpha_{\text{perforated}}))/S$								
α_{Average}	0.03	0.76	0.03	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
$R = S\alpha_{\text{Average}}/(1-\alpha_{\text{Average}})$	10.5	984.3	10.9	15.3	16.0	16.1	22.3	22.3
10.log N	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$10.\log(Q/4\pi.r^2+4/R)$	-3.8	-13.6	-3.9	-5.2	-5.4	-5.4	-6.6	-6.6
$L_p = L_w + 10.\log(Q/4\pi.r^2+4/R) + 10.\log N$	66	66	66	55	53	45	33	29

จากรายการคำนวณข้างต้นจะพบว่ากรณีที่ 3 สามารถตัดเสียงรบกวนที่ความถี่ 125 Hz. ได้มากกว่ากรณีที่ 2 ได้ค่อนข้างมาก

ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณ Enclosure

ตัวอย่างข้างล่างเป็นการคำนวณเปรียบเทียบการทำ Enclosure คลอบเครื่องจักรดังมีรายละเอียดดังนี้

1. Enclosure หนา 9.4 mm ไม่มี Lining ที่ผิวด้านใน
2. Enclosure หนา 6.8 mm.+Lining ด้วยใยแก้ว (48 Kg./m3) หนา 2 นิ้ว
3. Perforated หนา 6.25 mm.+ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ+Enclosure หนา 1.8 mm.

หมายเหตุ : การเปรียบเทียบในข้อ 1, ข้อ 2 และข้อ 3ข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบในเงื่อนไขราคาวัสดุที่ใกล้เคียงกัน (ราคาแผ่นเหล็กหรือแผ่น perforated 220 B/m^2. mm, ราคาใยแก้ว 290 B/m^2.inch)

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$L_{\text{P) Non enclosure}} - L_{\text{P) With enclosure}} = TL_{\text{Enclosure}} - 10\ \text{Log}\ (S_{\text{Enclosure}}) + 10\ \text{Log}\ (S_{\text{Enclosure}}\,\alpha_{\text{Enclosure}}\,S_{\text{Concrete}}\,\alpha_{\text{Concrete}})$$

โดยที่ TL = ค่าการป้องกันการส่งผ่านเสียงของ Enclosure - (dB)

$S_{\text{Enclosure}}$ = พื้นที่ผิว Enclosure - (m^2)

$\alpha_{\text{Enclosure}}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ผิวด้านใน Enclosure

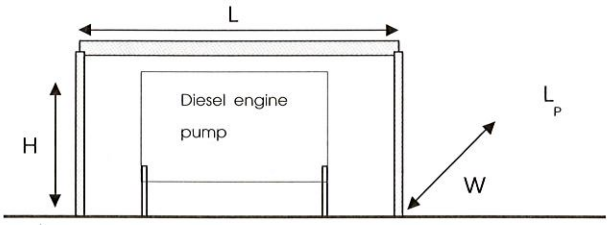
S_{Concrete} = พื้นที่พื้นภายในครอบ (ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นคอนกรีต) - (m^2)

α_{Concrete} = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ผิวพื้นคอนกรีตด้านใน Enclosure

$TL_{\text{Enclosure}}$ = (20 log (m f) - 42.0) - 10 log (0.23(20 log (m f) - 42.0))

m = น้ำหนักต่อพื้นผิว Enclosure - (kg/m^2)

f = ความถี่เสียง - (Hz.)



ข้อมูลที่กำหนดให้

Frequency (Hz.)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
L_P (dB) Measure near machine	120	130	120	110	108	100	90	86	117	dBA	จากการวัดโดยไม่มี Enclosure

ความกว้าง Enclosure (W) =	5	(m)
ความยาว Enclosure (L) =	10	(m)
ความสูง Enclosure (H) =	4	(m)
$S_{\text{Enclosure}}$ =	170	SE = Surface area of enclosure (m^2)
$S_{\text{Concrete floor}}$ =	50	SF = Floor area inside enclosure (m^2)

Enclosure ใช้แผ่นเหล็ก หนา 3.125 mm.

4.1 การคำนวณ Non lining enclosure (Enclosure หนา 9.4 mm ไม่มี Lining ที่ผิวด้านใน)

$TL_{Enclosure}$ = (20 log (m f) - 42.0) - 10 log (0.23(20 log (m f) - 42.0))

Enclosure composition

1.1 Steel sheet enclosure	9.4	mm. Thick	96.4	kg/m^2

m = 96.4 m = Enclosure surface density (kg/m^2)

Frequency(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$TL_{Enclosure}$	25	30	35	41	46	52	58	63
$\alpha_{E(Metal\ sheet)}$	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
$S_{E(Metal\ sheet)} . \alpha_{E(Metal\ sheet)}$	6.80	6.80	6.80	8.50	8.50	8.50	11.90	11.90
$\alpha_{Floor\ (Concrete)}$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$S_{Floor(Concrete)} . \alpha_{Floor(Concrete)}$	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50
$L_{P)\ With\ enclosure} = L_{P)\ Non\ enclosure} - TL_{Enclosure} + 10\ Log\ (S_{Enclosure}) - 10\ Log\ (S_{Enclosure} \alpha_{Enclosure} + S_{Concrete} \alpha_{Concrete})$								
$L_{P)\ With\ enclosure}$	109	114	98	82	74	60	43	34
A-weighting	-26	-16	-9	-3	0	1	1	1
A-weighting octave band Lp(dB)	83	98	89	79	74	61	44	35
Lp(dBA)	98							

4.2 การคำนวณ Enclosure with fiber glass lining 2" (Enclosure หนา 6.8 mm. + Lining ด้วยใยแก้วธรรมดา หนา 2 นิ้ว)

$TL_{Enclosure}$ = (20 log (m f) - 42.0) - 10 log (0.23(20 log (m f) - 42.0))

Enclosure composition

1.1 Steel sheet enclosure	6.8	mm. Thick	69.7	kg/m^2
1.2 Fiber glass	2.0	Inches Thick	2.4	kg/m^2

m = 72.1 m = Enclosure surface density (kg/m^2)

Frequency(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TL Enclosure	23	28	33	39	44	50	55	61
$\alpha_{E\ Inside\ lining\ enclosure\ 2"}$	0.10	0.17	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$S_{Enclosure} . \alpha_{E\ Inside\ lining\ enclosure}$	17	29	146	170	170	170	170	170
$\alpha_{Floor\ (Concrete)}$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$S_{Floor(Concrete)} . \alpha_{Floor(Concrete)}$	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50
$L_{P)\ With\ enclosure} = L_{P)\ Non\ enclosure} - TL_{Enclosure} + 10\ Log\ (S_{Lining\ enclosure}) - 10\ Log\ (S_{Lining\ enclosure} \alpha_{Lining\ enclosure} + S_{Concrete} \alpha_{Concrete})$								
$L_{P)\ With\ lining\ enclosure}$	107	110	87	71	64	50	35	25
A-weighting	-26	-16	-9	-3	0	1	1	1
A-weighting octave band Lp(dB)	81	94	78	68	64	51	36	26
Lp(dBA)	94							

4.3 การคำนวณ Enclosure แบบ perforated จากตัวอย่างที่ 2.3 (Perforated หนา 6.25 mm. + ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ + Enclosure หนา 1.8 mm)

ความหนาแผ่น perforated (t) =	0.25	" =	6.25	mm.
ความถี่กำทอน (f_R) =	120	Hz.		
ช่องว่างอากาศภายใน (h) =	3	"=	75	mm.
เส้นผ่าศูนย์กลางรู (d) =	1	"=	25	mm.
เปอร์เซ็นต์ช่องเปิด (P) =	1.0	%		

$TL_{Enclosure}$ = (20 log (m f) - 42.0) - 10 log (0.23(20 log (m f) - 42.0))

Enclosure composition

1.1 Steel sheet enclosure	1.80	mm. Thick	18.5	kg/m^2
1.2 Fiber glass	1.0	Inches Thick	1.2	kg/m^2
1.3 Perforated sheet	0.25	Inches Thick	62.8	kg/m^2

m = 82.4 m = Enclosure surface density (kg/m^2)

Frequency(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$TL_{Enclosure}$	24	29	34	40	45	51	56	62
$\alpha_{Fiber\ glass}$	0.05	0.11	0.20	0.60	0.90	0.93	0.96	0.96
$\alpha_{Metal\ sheet}$	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07
$\alpha_{Perforated\ except\ Rasonance\ frequency} = (1-P/100).\alpha_{Metal\ sheet} + (P/100)\alpha_{Fiber\ glass}$								
$\alpha_{Perforated\ enclosure}$	0.04	1.00	0.04	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
$S_{Enclosure}.\alpha_{Perforated\ enclosure}$	7	170	7	9	10	10	13	13
$\alpha_{Floor\ (Concrete)}$	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
$S_{Floor(Concrete)}.\alpha_{Floor(Concrete)}$	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50
$L_{P)\ With\ lining\ enclosure} = L_{P)\ Non\ enclosure} - TL_{Enclosure} + 10\ Log\ (S_{Perf.\ enclosure}) - 10\ Log\ (S_{Perf.\ enclosure}\alpha_{Perf.\ enclosure} + S_{Concrete}\alpha_{Concrete})$								
$L_{P)\ With\ lining\ enclosure}$	110	101	99	82	75	61	44	35
A-weighting	-26	-16	-9	-3	0	1	1	1
A-weighting octave band Lp(dB)	84	85	90	79	75	62	45	36
Lp(dBA)	92							

ตัวอย่างที่ 5 การคำนวณโดยใช้ Enclosure

ตัวอย่างข้างล่างเป็นการคำนวณเปรียบเทียบการทำ Enclosure คลอบเครื่องจักรดังมีรายละเอียดดังนี้

1. Enclosure หนา 6.25 mm ไม่มี Lining ที่ผิวด้านใน

2. Enclosure หนา 6.25 mm. + Lining ด้วยใยแก้ว(48 Kg./m3) หนา 1 นิ้ว

3. Perforated หนา 6.25 mm. + ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ+Enclosure หนา 6.25 mm.

หมายเหตุ: การเปรียบเทียบในข้อ 1, ข้อ2 และข้อ 3 ข้างต้นเป็นการเปรียบเทียบเพื่อแสดงผลของการปรับปรุงทีละขั้นตอน โดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 4 จะได้ผลดังนี้

5.1 การคำนวณ Non lining enclosure (Enclosure หนา 6.25 mm ไม่มี Lining ที่ผิวด้านใน)

Lp(dBA)	102

5.2 การคำนวณ Enclosure with fiber glass lining 1 " (Enclosure หนา 6.25 mm.+ Lining ด้วยใยแก้วธรรมดา หนา 1 นิ้ว)

Lp(dBA)	97

5.3 การคำนวณ Enclosure แบบ perforated จากตัวอย่างที่ 2.3 (Perforated หนา 6.25 mm.+ ใยแก้ว หนา 1 นิ้ว + ช่องว่างอากาศ+Enclosure หนา 6.25 mm.)

Lp(dBA)	89

หมายเหตุ: ข้อจำกัดของการทำ Enclosure ครอบคือ

1. จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักร ในการออกแบบพิจารณาถึงการระบายความร้อนของเครื่องจักรโดยทั่วไปจะมีการติดพัดลมระบายอากาศพร้อม acoustics louver เพิ่มเติม

2. การกำหนดขนาดมีระยะห่างระหว่างตัวเครื่องกับผนัง Enclosure พอสมควรเพื่อความสะดวกในการเข้าไปตรวจตราเครื่องจักร

3. เครื่องจักรบางชุดจะต้องมีการซ่อมใหญ่(Overhualt) เป็นระยะ ๆซึ่งจะต้องมีการถอดชิ้นส่วนต่าง ๆออก ดังนั้นที่ว่างภายในEnclosure จะต้องไม่กีดขวางการทำงานดังกล่าว

(การออกแบบEnclosure แบบเปิดด้านท้ายออก 1 ด้านก็เป็นอีกแนวทางหนึ่ง แต่จะต้องเปิดสู่ด้านที่ไม่มีคนอยู่ประจำและไม่มีผนังทึบซึ่งจะสะท้อนเสียงมายังด้านหน้าอีก)

5. สรุป

การประยุกต์ใช้งานเพื่อลดเสียงรบกวนโดยใช้ Perforated metal sheet ประกอบกับวัสดุดูดซับเสียง จะใช้ได้ผลดีในกรณีที่ Sprectrum เสียงมีค่าสูงสุดที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง หรือต้องการดูดซับเสียงที่ไม่พึงประสงค์ที่ความถี่ใด ๆภายในห้องเพื่อปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้อง ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยอาจจะผสมผสานกับวัสดุหรือรูปแบบ แผ่น Perforated แบบอื่น ๆมากกว่า 1 แบบก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน หวังว่าผู้อ่านจะใช้หลักการข้างต้นให้เป็นประโยชน์ในการคำนวณเพื่อออกแบบทั้งในงานการป้องกันเสียงรบกวนและในงานปรับปรุงคุณภาพเสียงภายในห้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. *Acoustical use for perforated metal ; The Industrial perforators Association ,Inc. 1986"*
2. *Noise control in building service ; SRL Ltd.*
3. *Wood practical guide to noise control ; Lan Sharland*
4. *ASHRAE Application Handbook 1995*